

携帯電話の筐体面電流の制御による局所 SAR の低減化と通信特性の確保

SAR Reduction and Antenna Performance Guarantee by Suppression of Surface Currents on Portable Telephones

王 建青・藤原 修 名古屋工業大学工学部

J. Wang and O. Fujiwara, Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology

This paper describes a means for reducing the quantity of electromagnetic radiation absorbed by a human head from a portable telephone without degrading the antenna performance. The method is based on the suppression of currents flowing on the surface of the device close to the head by means of a ferrite sheet attachment, for example. This current suppression does not significantly affect the antenna's radiation efficiency, because the ferrite sheet attachment only very slightly affects the currents in the antenna and on the other surfaces of the device. In this way, a portable telephone with low electromagnetic absorption can be realized by controlling the current distribution on its surface.

Key words: portable telephone, SAR, ferrite sheet, current suppression

1. ま え が き

携帯電話機の小型・軽量化に伴い、アンテナの小型化が進み、アンテナと人体頭部との相互作用はますますクローズアップされている。携帯電話機のアンテナから放射される電波については、一部が頭部に吸収され、残りは通信目的で空間へ放射される。したがって、人体頭部における電磁エネルギー吸収の低減は、アンテナ放射効率・通信特性の向上に直接寄与することになる。

一方、携帯電話機使用時にはアンテナが顔面に近接するために放射電波がたとえ微弱であっても頭部表面での電力局所吸収量が増加し、これによる人体影響の懸念から、近年、携帯電話機を対象とした局所吸収指針^{1)~3)}が米国、欧州、日本において相次いで制定された。特に、米国においては政府レベルの強制規格として連邦通信委員会(FCC)が局所吸収値の明記をメーカーに義務付けており⁴⁾、こうした動きは、早かれ遅かれ日本を含めて世界各国に波及する気運にある。こうした背景からも、人体頭部における電磁エネルギー吸収の低減が望まれている。

なお、各国の局所吸収指針における局所吸収の評価量としては、単位質量あたりに吸収される電力、すなわち SAR (Specific Absorption Rate) が用いられ、生体組織に侵入

した電界を E 、組織の導電率を σ 、密度を ρ とすれば、

$$SAR = \sigma E^2 / 2\rho \quad (1)$$

と表される。例えば、米国の局所吸収指針では、1 グラム組織平均 SAR のピーク値が 1.6 W/kg、欧州・日本の局所吸収指針では、10 グラム組織平均 SAR のピーク値が 2 W/kg を超えないように定めている。

低局所 SAR の実現例としては、平板アンテナが電話機後面筐体に設置する手法が挙げられる⁵⁾。しかし、この種のアンテナでは、高放射効率や通信に必要とした周波数帯域幅の達成は容易でない。また、指向性アンテナの使用も考えられるが⁶⁾、すべての方向から通信可能であることを犠牲にしている。

筆者らは、局所 SAR が主にアンテナ電流に依存して決まる事実⁷⁾から、フェライトシートの磁気損失特性に注目した SAR 低減法を考案した⁸⁾。携帯電話機は、通常、外部アンテナと内部回路との電磁干渉を抑えるために、金属筐体かプラスチック外殻の内部に金属の粉を噴塗することで内部回路をシールドしている。また、小型アンテナ(例えば、1/4 波長モノポールアンテナやヘリカルアンテナ)は、この金属筐体もアンテナの一部として働くので、その表面には電流が流れている。

本文では、この筐体表面へフェライトシートを装着することで筐体電流を抑え、結果として局所 SAR が低減し、併せてアンテナ放射効率も向上することを示す。

2. 解析手法

Fig. 1 に本研究で用いた携帯電話機のモデルを示す。このモデルは矩形の金属筐体とその上方に設置している 1/4 波長 (λ) モノポールアンテナから構成されている。また、同図に示しているように、金属筐体の前面(頭部側)に幅 $W=4$ cm、高さ $h=3$ cm、厚さ $t=0.25$ cm のフェライトシートを装着している。このようなフェライトシートの配置は、局所 SAR に直接影響を与える頭部側筐体上の電流だけを抑制し、筐体の他の部分の電流に影響をできるだけ与えないような考えに基づいている。なお、フェライトシートは入手可能な市販材料を想定し、計算に際しての複

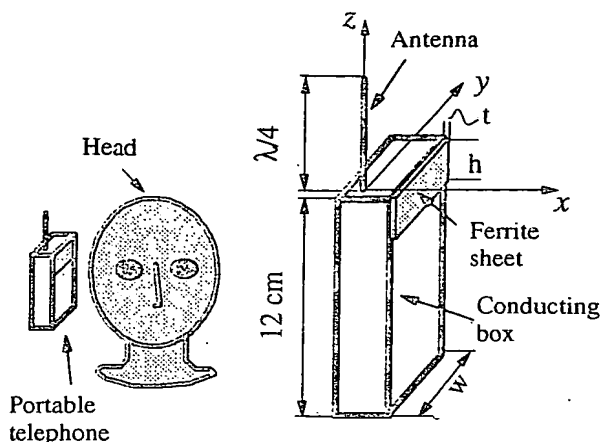


Fig. 1 Models of a head and a portable telephone with an attached ferrite sheet.

素透磁率 $\mu_r (= \mu'_r - j\mu''_r)$ と複素誘電率 $\epsilon_r (= \epsilon'_r - j\epsilon''_r)$ は 900 MHz においてそれぞれ $2.8 - j3.3$ と $7.0 - j0.6$ とした。

一方、人体頭部モデルは、日本人成人男性の頭部解剖図を基に筆者らのグループで開発したもの⁹⁾を使用した。このモデルは一辺 2.5 mm の微小立方体 27 万個あまりから構成され、皮膚、脂肪、筋肉、骨、脳、眼球、およびレンズの 7 種類の組織からなる。各組織の電気定数は FCC が推薦している <http://www.fcc.gov/fcc-bin/dielec.sh> から引用した。また、金属筐体電流と頭部内 SAR との関係を明確に導くために、不規則形状の耳はモデルから取り外した。同様の理由により、電話機を握る手も考慮しなかった。

上述のようなモデルを用いて、筐体表面電流と頭部内 SAR との関係を FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法¹⁰⁾で解析した。FDTD 法とはマクスウェルの方程式を時間領域と空間領域とで差分化し、その差分式を時間領域で逐次計算することにより計算領域内の電磁界を数値的に求める計算手法である。このとき、計算対象を微小な立方体か長方体（セル）に分割し、各セルに電気定数を割り付けるので、人体頭部のような複雑形状の不均質媒体での電磁界計算には特に適している。

3. 局所 SAR の低減機構¹¹⁾

Fig. 2 はモノポールアンテナ上に流れる電流分布の FDTD 解析結果を、フェライトシート装着の有無で比較して示した図である。なお、本文すべての結果は、特に断らない限り、アンテナ出力電力は 1 W として計算したものである。Fig. 2 から、それら両方は同じ形状をしており、アンテナ給電点近傍の電流がフェライトシートの装着でわずかに増大したことを除けば、特に明確な違いはないことがわかる。このことは、モノポールアンテナ上の電流はフェライトシートの装着で影響をほとんど受けていないことを示している。しかしながら、頭部内 1 グラムおよび 10

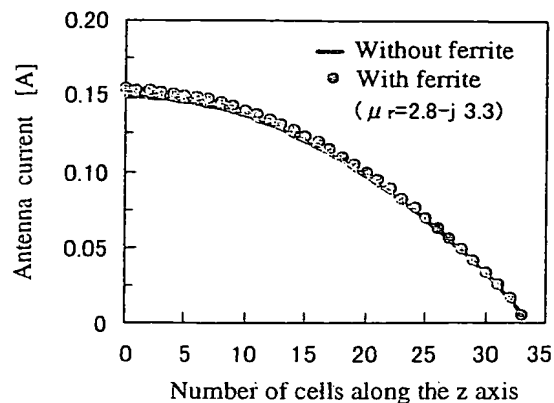


Fig. 2 Current distribution in a monopole antenna with an antenna output power of 1 W.

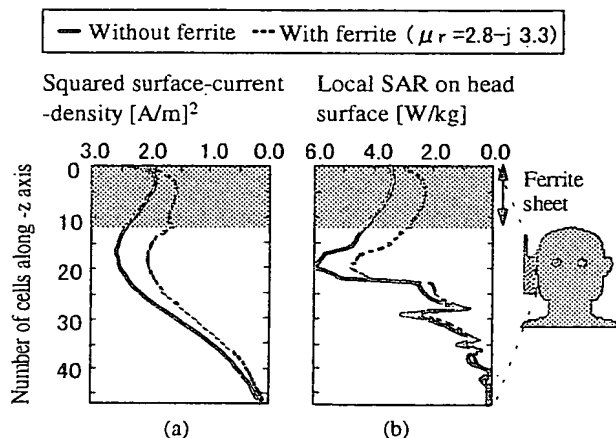


Fig. 3 (a) Squared surface-current density on the conducting box and (b) local SAR on the head surface. Both of them were extracted from the x - z cross-section through the center of the conducting box. The antenna output power was 1 W.

グラム平均局所ピーク SAR は、20% 近く低減された。

Fig. 3 に携帯電話機中心を通る x - z 平面における頭部表面 SAR と頭部側筐体表面電流密度の 2 乗値を示す。図から、筐体表面電流密度の 2 乗値の変化が SAR と同じ傾向を示し、フェライトシートの装着で筐体表面電流が抑制され、それに対応して頭部表面 SAR も低減されていることがわかる。Fig. 4 に筐体表面電流密度 2 乗値の抑制量とそれに対応する頭部表面 SAR との相関関係を示す。図から、両者の相関係数が 0.73 と求められ、強い相関のあることがわかる。

次に、Fig. 1 の装着位置のフェライトシートを位置 A とし、それを下方へ 3 cm ずらしたものを位置 B、6 cm ずらしたものを位置 C、9 cm ずらしたものを位置 D として、装着位置と局所ピーク SAR 低減量との関係を調べた。その結果を Fig. 5 に示す。図から、フェライトシートの装着位置による 1 グラムおよび 10 グラム平均局所ピーク

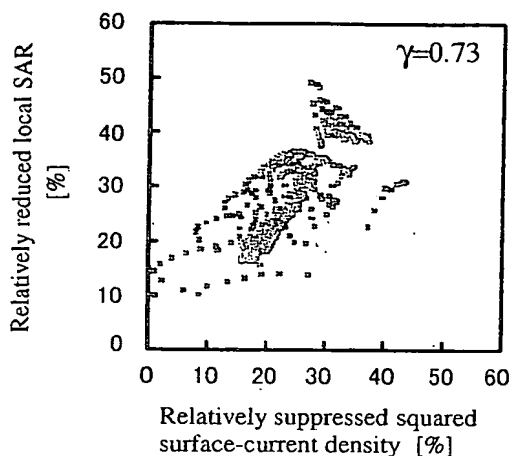


Fig. 4 Correlation between the relative value of the suppressed squared surface-current density and the reduced local SAR.

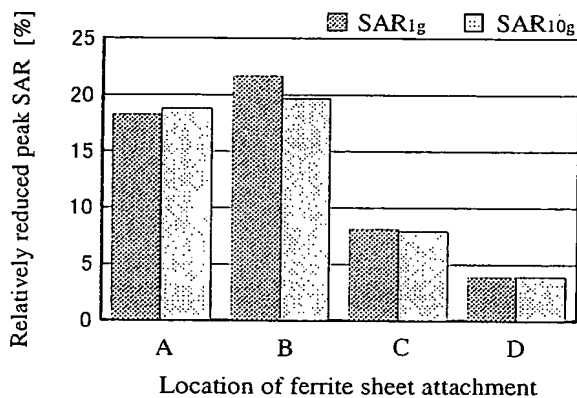


Fig. 5 Relationship between the location of the ferrite sheet and relative decrease in the one-gram and ten-gram averaged spatial peak SARs.

SARの低減量は、D, C, A, Bの順で、頭部側筐体表面電流密度の大きさ (Fig. 3 参照) に応じて大きくなっていることがわかる。これらの結果は、局所ピーク SAR の低減がフェライトシートによる頭部側筐体表面電流の抑制によるもので、表面電流の最も大きい箇所にフェライトシートを装着すべきであることを示している。

4. アンテナ特性の確保¹¹⁾

小型アンテナは、金属筐体がアンテナの一部にもなっている場合が多く、フェライトシート装着による筐体表面電流の抑制は、アンテナ性能に影響を及ぼし、通信特性の劣化が心配される。Fig. 6 に、フェライトシートが B の位置に装着したときの水平・垂直平面におけるその平面での最大電界値で規格したアンテナ放射パターンを示す。図から、いずれの平面においても、 E_θ 成分の劣化がほとんど認められず、 E_ϕ 成分は逆にわずかな増加が見られた。

一方、アンテナ出力電力を P_{out} とすると、それは

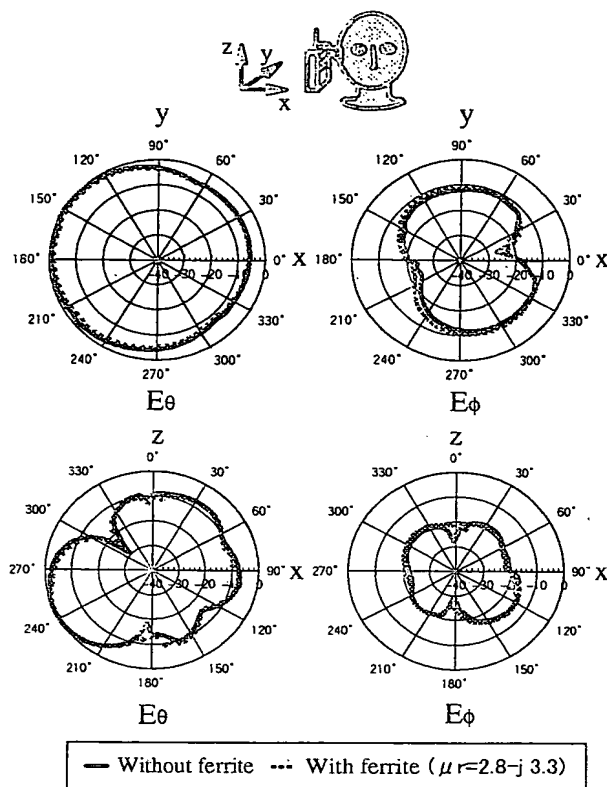


Fig. 6 Antenna radiation patterns normalized to the maximum electric field value in each plane.

Table 1 Normalized radiated and absorbed power

	Without ferrite sheet attachment	With ferrite sheet attachment at location B
Radiated power	44.7 %	48.0 %
Power absorbed in head	55.3 %	49.2 %
Power dissipated in ferrite	0.0 %	2.8 %

$$P_{out} = P_{rad} + P_{abs} + P_{ferr} \quad (2)$$

と表される。ただし、 P_{rad} は空間への放射電力 (通信に用いられる電力)、 P_{abs} は人体頭部に吸収される電力、 P_{ferr} はフェライトシート自身で消費した電力である。Table 1 にフェライトシート装着しない場合と B 位置に装着した場合の諸電力の計算値を示す。表から、フェライトシートの装着で、頭部による吸収電力が低減され、アンテナ放射電力が増加されていることがわかる。この理由は、フェライトシート装着による頭部吸収電力の低減量がフェライトシート自身の電力消費量より大きいからである。また、頭部側筐体の最大表面電流箇所だけで電流を抑制しても、アンテナの特性にほとんど影響はない。ただし、フェライトシート装着による頭部吸収電力の低減量が、局所ピーク SAR の低減量ほど大きくないため、アンテナ放射電力の著しい改善は見られていない。

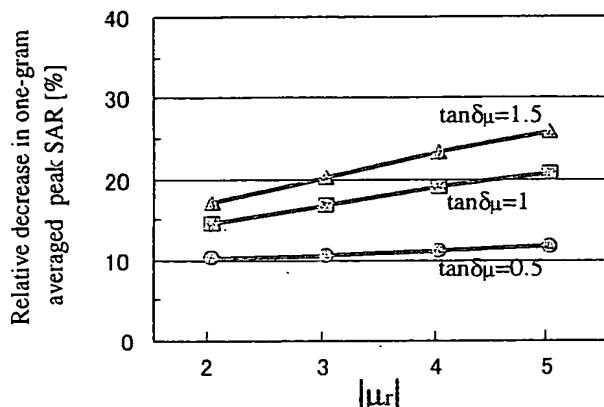


Fig. 7 Relationship between the complex relative permeability of the ferrite sheet and the relative decrease in the one-gram averaged spatial peak SAR.

5. 材料定数と局所 SAR 低減量との定量関係¹²⁾

携帯電話機の筐体電流を効果的に抑制するには、装着フェライトシートは大きな磁気損失をもたなければならない。すなわち、 $\tan \delta_\mu (\mu_r''/\mu_r')$ の大きい材料を使用すべきである。Fig. 7 にフェライトシートの磁気損失 $\tan \delta_\mu$ および $|\mu_r|$ と 1 グラム平均局所ピーク SAR との関係を示す。図から、SAR の低減効果は $\tan \delta_\mu$ の増加とともに大きくなっていること、大きい $|\mu_r|$ 値も SAR の低減効果に寄与していること、などがわかる。これらの結果から、SAR の低減化にはフェライトシートの磁気損失 $\tan \delta_\mu$ は 1 以上であることが望まれる。

6. む す び

携帯電話機による頭部内局所ピーク SAR は、頭部側金属筐体における表面電流に依存することから、フェライトの磁気損失特性を利用した筐体面電流抑制による局所 SAR の低減法を示した。フェライトシートの頭部側筐体への装着は、アンテナおよびそれ以外の筐体上電流にほとんど影響を及ぼさないため、アンテナ放射特性が確保され、その特性の向上も期待できる。これらの結果により、局所 SAR 低減化の一般的指針としては、携帯電話機の頭部側筐体に電流をできるだけ流さないように設計すべきである。フェライトシートの装着は、これを実現するための手段の一つであるが、筐体面電流の適切な制御によって高放射効率と低局所 SAR とを両立させる携帯電話機の実現が可能となる。

参 考 文 献

- 1) ANSI/IEEE C95.1-1992: "American National Standard

—Safety Levels with Respect to Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz". (New York, IEEE, 1992).

- 2) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: "ICNIRP Statement—Health issues related to the use of hand-held radio-telephones and base transmitters", *Health Physics*, 70, 587-593 (1996).
- 3) 郵政省電気通信技術審議会答申, 諮問第 89 号: "電波利用における人体防護の在り方" (April 1997).
- 4) Federal Communications Commission: "Report and Order: Guidelines for evaluating the environmental effects of radiofrequency radiation", FCC 96-326, Washington, D. C. (1996).
- 5) G. F. Pedersen and J. B. Andersen: Proc. 44th IEEE Veh. Technol. Conf., pp. 1537-1541 (Stockholm, Sweden, June 1994).
- 6) R. Y. S. Tay, Q. Balzano, and N. Kuster: *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 46, 798-806 (June 1998).
- 7) N. Kuster and Q. Balzano: *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 41, 17-23 (Feb. 1992).
- 8) J. Wang and O. Fujiwara: *IEICE Trans. Commun.*, E80-B, 1810-1815 (Dec. 1997).
- 9) O. Fujiwara and A. Kato: *IEICE Trans. Commun.*, E77-B, 732-737 (June 1994).
- 10) 宇野 亨: 「FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析」(コロナ社, 1998).
- 11) J. Wang and O. Fujiwara: Proc. 13th Int. Zurich Symp. on Electromagn. Compat., pp. 59-62 (Zurich, Switzerland, Feb. 1999).
- 12) J. Wang, O. Fujiwara, and T. Takagi: Proc. IEEE Int. Symp. on Electromagn. Compat., pp. 822-825 (Seattle, USA, Aug. 1999).

(1999 年 6 月 17 日受理)



王 建青 おう けんせい

昭 59 北京理工大・電子卒, 平 3 東北大大学院博士課程了, 東北大・工・助手, (株)ソフィアシステムズを経て, 現在, 名工大・工・助手, 環境電磁工学, 無線通信に関する研究に従事。

専門 環境電磁工学

(工博)



藤原 修 ふじわら おさむ

昭 46 名工大・工・電子卒, 昭 48 名大大学院修士課程了, 同年 (株)日立製作所中央研究所入所, 昭 51 同所退職, 昭 55 名大大学院博士後期課程了, 名大・工・助手, 講師を経て, 昭 60 名工大・工・助教授, 現在, 同電気情報教授, 平 3~4 スイス連邦工科大客員教授, 放電雑音, 生体電磁環境, 環境電磁工学に関する研究に従事。

専門 環境電磁工学

(工博)